

552, 195

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Oktober 2004 (28.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/091844 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23K 26/36,**
B21K 5/20
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/004054
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. April 2004 (16.04.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 17 579.2 16. April 2003 (16.04.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **LASERTEC GMBH** [DE/DE]; Maybachstrasse 6,
87437 Kempten (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HILDEBRAND, Peter**
[DE/DE]; Mühlenbichlweg 18, 87459 Pfronten (DE).

KUHL, Michael [DE/DE]; Feistlestrasse 12b, 87629
Füssen (DE). **REISACHER, Martin** [DE/DE]; Mari-
abergerstrasse 69a, 87435 Kempten (DE). **STÜRMER,**
Udo [DE/DE]; Vilstalstrasse 60a, 87459 Pfronten (DE).

(74) Anwalt: **BEETZ & PARTNER**; Steinsdorfstrasse 10,
80538 München (DE).

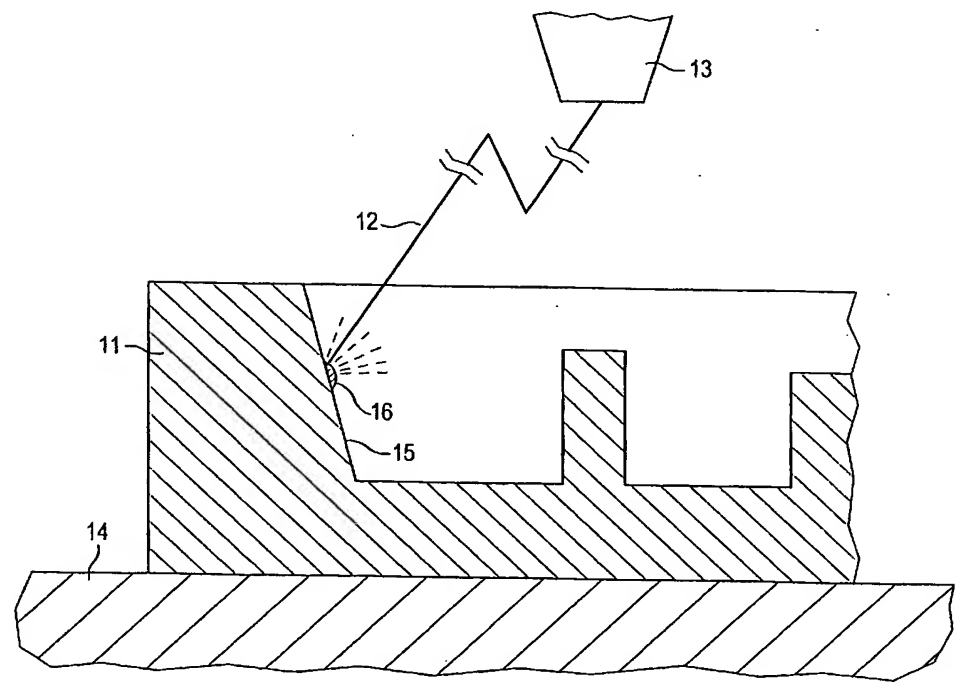
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING A CAVITY IN A WORKPIECE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG EINES GESENKS IN EINEM WERKSTÜCK



(57) Abstract: When producing a cavity in a workpiece involving the removal of material in a layer by layer manner by means of a laser beam, the sidewalls of the cavity are machined by a laser beam and/or by a machining means and/or by ultrasound.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/091844 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks in einem Werkstück

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks in einem Werkstück gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche. Ein solches Verfahren und eine solche Vorrichtung sind aus der WO 00/19167 und der WO 00/18535 der gleichen Anmelderin bekannt.

Die angesprochenen Verfahren und Vorrichtungen betreffen dabei insbesondere das "Prototyping" und den Formenbau, wobei Formen und insbesondere Gesenke herzustellen sind, die vergleichsweise klein und mit hoher Genauigkeit herzustellen sind.

Beim Verfahren zur Herstellung eines Gesenks mittels eines Laserstrahls wird ein Laserstrahl im ihm zugänglichen Arbeitsfenster nach Maßgabe von digital abgelegten Formdaten über die ihm zugängliche Arbeitsfläche eines Werkstücks geführt. Dies kann beispielsweise mäandernd oder schraffierend passieren. Die Laserleistung und die sonstigen Parameter sind so eingestellt, dass der einfallende Laserstrahl Material an der Eintrittsstelle teilweise verdampft, so dass es aus der Oberfläche entfernt wird. Auf diese Weise kann der Laser mit geeigneter Ansteuerung schichtweise Material aus der Oberfläche entfernen, so dass so im Laufe der Zeit ein Gesenk entsteht. Die Führung des Lasers und die Einstellung bzw. Steuerung sonstiger Prozessparameter geschieht auch Bezug nehmend auf die digital gespeicherten Gesenkdaten.

In Fig. 1A sind die obigen Vorgänge schematisch dargestellt. Mit 11 ist ein Werkstück im Schnitt dargestellt. 12 markiert schematisch den Laserstrahl, der einem Laserkopf 13 entspringt. Mit 17 ist schematisch die Auftreffstelle des Laserstrahls auf dem momentanen Gesenkboden dargestellt. Mit 18 sind schematisch die einzelnen bisher schon abgetragenen Schichten angedeutet. Mit 19 sind gestrichelt die endgültig gewünschten Gesenkformen gezeigt. 20 bezeichnet den momentanen Gesenkboden, also das, was derzeit die frei zugängliche Oberfläche des Gesenks ist. Mit 15 sind Seitenwände des Gesenks bezeichnet. Die Darstellung der Fig. 1A ist so, dass zwischen Seitenwand 15 und Gesenkboden 20 wegen der Winkligkeit zwischen beiden gut unterschieden werden kann. Dies muss nicht immer der Fall sein. Allgemein wird im Rahmen dieser Anmeldung unter Seitenwand eine im Gesenk zugängliche Fläche verstan-

den, die in ihrer z-Koordinate (parallel zur Gesenktiefe) näher am Laserkopf 13 liegt als der Gesenkboden 20. 14 bezeichnet den Werkstücktisch. Fig. 1A zeigt weiterhin die verwendete Koordinaten-
definition. Die Zeichenebene ist die xz-Ebene. Senkrecht dazu (diagonal angedeutet) steht die y-Koordinate. Das Arbeitsfenster 10 des
5 Laserstrahls liegt somit in der xy-Ebene.

Fig. 1B zeigt vergrößert Verhältnisse, die beim Laserabtrag an Seitenwänden entstehen können. Der wegen seiner Fokussierung konisch zulaufende Laserstrahl 12 wird in Richtung des Pfeiles 21 über den Gesenkboden 20 geführt. Das dabei verdampfende, aufgeschmolzene und wegspritzende Material, insbesondere Metall, ist durch die "Strahlen" 21 symbolisiert. Teilweise lagert sich insbesondere das wegspritzende Material im Gesenk wieder an. Solches wiederangelagerte Material ist durch die Bezugsziffern 16 (Anlagerung an der Seitenwand 15) und 22 (Anlagerung am Gesenkboden 20) symbolisiert. Anlagerungen 22 am Gesenkboden 20 sind allgemein
15 unschädlich, denn sie werden beim nächsten Durchlauf des Lasers überarbeitet, insbesondere werden sie bei vorhandener Tiefenregelung geregelt entfernt. Anders verhält es sich mit Anlagerungen an der Seitenwand 15. Da diese Seitenwände a priori vom Laserstrahl nicht wieder überarbeitet werden, bleiben Anlagerungen 16 an der
20 Seitenwand bestehen. Darüber hinaus neigen sie zum Wachsen: An eine erste, zufällig entstandene Anlagerung spritzt von unten (vom Gesenkboden 20 her) Material an und lagert sich dort ab. Die Anlagerung wächst damit in Richtung auf den Gesenkboden 20 zu. Sie wächst auch in Richtung Gesenkinneres sowie in Umfangsrichtung des Gesenks. Die Anlagerung ähnelt dann einem Schüttkegel. Sol-

25

che Anlagerungen können die Qualität des entstandenen Gesenks signifikant verschlechtern.

5 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks in einem Werkstück anzugeben, die die Gesenkbildung mit anlagerungsfreien Seitenwänden erlauben.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Abhängige Patentansprüche sind auf bevorzugte
10 Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Erfindungsgemäß werden auch die Seitenwände des Gesenks mittels eines Laserstrahls bearbeitet. Der Bearbeitung kann eine Vermessung der Seitenwände vorausgehen, wobei die Seitenwandbearbeitung nach Maßgabe des Vermessungsergebnisses erfolgt. Anderer-
15 seits kann die Seitenwandbearbeitung auch ohne vorherige Vermessung, "pauschal", erfolgen.

Unter „Seitenwand“ kann in einer Ausführungsform dabei die Gesenkbegrenzung ohne den momentanen Gesenkboden verstanden
20 werden. Unter Gesenkboden kan diejenige Fläche verstanden werden, von der ausgehend weiterer Materialabtrag in Tiefenrichtung des Gesenks erfolgt.

25 Anstelle eines Laserstrahls oder zusätzlich hierzu können die Seitenwände auch mit einem Bearbeitungsmittel, etwa einem Ätzmittel oder einem Partikelstrahl, oder unter Verwendung von Trockeneis und/oder Ultraschall bearbeitet werden.

Die Seitenwandbearbeitung kann über die gesamte Gesenktiefe oder einen Teil davon und über den gesamten Gesenkumfang oder über einen Teil davon erfolgen.

- 5 Die Seitenwandbearbeitung kann mit verminderter Laserleistung und/oder an der Auftreffstelle defokussiert erfolgen.

Die Seitenwandbearbeitung kann insbesondere der Entfernung von Material dienen, das sich während der Gesenkbildung an den schon
10 stehenden Seitenwänden wieder angelagert hat, aber auch anderen Zwecken. Die erfindungsgemäß zu bearbeitende Seitenwand kann mehr oder minder stark geneigt sein. Ihr Übergang zum momentanen Gesenkboden kann bei sehr flachen Neigungen fließend sein. Soweit die Seitenwandbearbeitung angesprochen wird, kann dies
15 auch umfassen, dass der Gesenkboden mit bearbeitet wird. es kann aber auch bedeuten, dass ausschließlich die Seitenwand bearbeitet wird.

Nachfolgend werden Bezug nehmend auf die Zeichnungen einzelne
20 Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, es zeigen:

Fig. 1A und B bekannte Verhältnisse,

Fig. 2 das erfindungsgemäße Vorgehen,

25 Fig. 3 eine erfindungsgemäße Steuerung, und

Fig. 4 schematisch eine Vorrichtung zur Anwendung eines Bearbeitungsmittels bei der Seitenwandbearbeitung.

Fig. 2 zeigt ein Werkstück schematisch, das dem aus Fig. 1A ähnelt. Gleiche Bezugsziffern wie in Fig. 1 bezeichnen gleiche Merkmale.

Der Laserstrahl 12 ist als auf die Seitenwand 15 auftreffend dargestellt. Unter dem Laserstrahl 12 wird eine Anlagerung 16 angenommen, die durch den Laserstrahl 12 entfernt wird, so dass die Seitenwand wieder die ursprünglich vorgesehene Form hat.

Es hat sich herausgestellt, dass die Anlagerungen 16 andere Eigenschaften gegenüber dem Laserstrahl oder gegenüber Bearbeitungsmitteln wie Partikelstrahl oder Ätzmittel oder Trockeneis oder Ultraschall haben können als das ursprünglich vorhandene Material des Werkstücks 11. Insbesondere ist das wiederangelagerte Material 16 dem Laserstrahl 12 oder dem Bearbeitungsmittel gegenüber weniger "widerstandsfähig" als das ursprüngliche Material des Werkstücks 11. Dies kann man sich dahingehend zunutze machen, dass die Seitenwandbearbeitung so erfolgt, dass das "Vollmaterial" (also das ursprünglich als Seitenwand 15 stehengelassene Material des Werkstücks 11) durch den Laserstrahl 12 nicht weiter abgetragen wird. Dies kann man auf verschiedene Weisen erreichen, beispielsweise indem der Laserstrahl schneller über die Fläche geführt wird, so dass weniger Energie pro Fläche eingestrahlt wird, oder dass die Laserleistung reduziert wird, oder dass der Laserstrahl defokussiert auf die Seitenwand auftrifft. Letzteres ist bevorzugt. Es kann aber auch eine Kombination der obigen Maßnahmen gewählt werden. Bei defokussierter Arbeitsweise kann die vorgesehene Arbeitsstelle des Lasers intrafokal (Aufreffpunkt zwischen Laserkopf 13 und Fokuspunkt des Laserstrahls) oder extrafokal liegen.

Die Ansteuerung des Lasers 12 bzw. des Laserkopfs 13 zur Seitenwandbearbeitung erfolgt nach Maßgabe der Gesenkdaten durch eine Steuerung. Die Steuerung hat Zugriff auf die Gesenkdaten, so dass auch insbesondere die Seitenwandkoordinaten punktweise nach x- und y- und z-Koordinate erfolgen kann.

Die Seitenwandbearbeitung kann einmal oder mehrmals bei der Herstellung eines Gesenks erfolgen. Beispielsweise kann jeweils nach 10 (allgemein nach n), $n \geq 1$ jeweils vom Gesenkboden 20 abgetragenen Schichten ein Seitenwandbearbeitungsdurchgang erfolgen. Denkbar ist auch, die Seitenwandbearbeitung einmal ganz am Ende der Gesenkbildung vorzunehmen.

Die Seitenwandbearbeitung kann über die gesamte Tiefe des Gesenks (also vom Gesenkboden 20 bis "hinauf" zur Oberkante des Gesenks) oder nur über einen Teilbereich erfolgen. Auch in Umfangsrichtung kann die Seitenwandbearbeitung ganz oder teilweise erfolgen. Beispielsweise kann die Frage, welche Teile der Seitenwand bearbeitet werden, davon abhängig gemacht werden, wie sehr die jeweilige Seitenwand zu Anlagerungen neigt. Steile Seitenwände neigen eher zu Anlagerungen als sehr flache. Somit kann die Wandneigung zu einem Kriterium für die Frage der Seitenwandbearbeitung herangezogen werden.

Die Seitenwandbearbeitung kann so erfolgen, dass die Seitenwand vollständig, d. h. flächenfüllend, überarbeitet wird. Es kann aber auch so vorgegangen werden, dass das Gesenk vermessen wird und nur dort, wo sich bei der Vermessung Anlagerungen an den Seitenwänden zeigen, die Seitenwandbearbeitung erfolgt. Die Vermessung

kann mittels der (nicht gezeigten) Tiefensensorik des Laserbearbeitungskopfs 13 oder mit einer externen Vermessungsvorrichtung erfolgen. Insbesondere ist es möglich, in einem ersten Bearbeitungsdurchlauf die Seitenwand (im gewünschten Bereich) vollständig zu überarbeiten und dabei die mittels der Tiefensensorik gewonnenen Daten entsprechend auszuwerten. Wenn sich zeigt, dass an einer Seitenwand starke Anlagerungen vorhanden waren und auch nach der ersten Seitenwandbearbeitung stehengeblieben sind, kann diese ggf. unmittelbar folgend nochmals überarbeitet werden. Die Tiefensensorik kann dabei so ausgestaltet sein, dass sie das Prozessleuchten auswertet und dabei Rückschlüsse auf die Arbeitstiefe zieht.

Bei der Bearbeitung der Seitenwand kann die Relativlage von Laserkopf 13 und Werkstück 11 anders eingestellt sein als für den schichtweisen Abtrag. Insbesondere kann die Einstellung so erfolgen, dass der Laserstrahl "senkrechter" auf die Seitenwand auftrifft. In Fig. 2 würde dies dazu führen, dass der Laserkopf 13 nach rechts bzw. das Werkstück 11 zusammen mit dem Tisch 14 nach links fahren wird.

Eine Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks ist schematisch in Fig. 3 gezeigt. Hier wird der Laserkopf 13, der den Laserstrahl 12 aussendet, von einer Ansteuereinrichtung 30 angesteuert. Der Laserkopf 13 weist einen Laser 36 auf, eine Fokussiereinrichtung 37 ("z-Shifter") und eine Ablenkeinheit 38, mit der der Laser in x- und y-Richtung über die Oberfläche des Gesenks geführt werden kann. Diese Komponenten werden von der Ansteuereinrichtung 30 angesteuert. Die Ansteuereinrichtung 30 weist einen Speicher 35 auf, in dem die Gesenkdaten insbesondere vektoriell oder punktweise oder

kombiniert gespeichert sein können. Bezug nehmend auf die im Speicher 35 gespeicherten Daten werden durch eine x-y-Ansteuerung 31 Ansteuersignale für die Ablenkeinrichtung 38 ermittelt, durch die Fokussteuerungseinrichtung 32 Ansteuersignale für die Fokussiereinrichtung 37 und durch die Leistungssteuerung 34 Ansteuersignale für den Laser 36. Wenn die Seitenwandbearbeitung einzusteuern ist, wird der Laserstrahl 12 durch die Ablenksteuerungseinrichtung 31 mittels der Ablenkeinrichtung 38 über die Seitenwände des Gesenks geführt. Gleichzeitig kann dann über die Fokussiereinrichtung 37 mittels der Fokussteuerung 32 die Defokussierung bewirkt werden, indem die Lage des Fokuspunkts insbesondere in z-Richtung geeignet gesteuert wird, oder es kann die Ausgangsleistung des Lasers 36 mittels der Leistungssteuerung 34 eingestellt werden.

Nachfolgend wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Seitenwandbearbeitung mit einem Bearbeitungsmittel, etwa einem Partikelstrahl und/oder einem Ätzmittel und/oder mittels Trockeneis und/oder mittels Ultraschall, erfolgt. Es kann anstelle der oder zusätzlich zur Seitenwandbearbeitung mit Laserstrahl eingesetzt werden. Fig. 4 zeigt hierzu schematisch eine Vorrichtung, dort insbesondere die Bezugszeichen 40 - 46.

Das Bearbeitungsmittel kann ein Partikelstrahl sein, etwa ein Sandstrahl mit geeigneter (mittlerer) Korngröße, und/oder ein Ätzmittel, z. B. H_3PO_4 , und/oder Trockeneis. Es kann in einem Behälter 42 vorgehalten und mit einer Fördereinrichtung 41, bspw. einer Pumpe, durch eine Führung 40 in den Bereich des Gesenks gebracht werden. Die Führung 40 und insbesondere deren vordere Mündung 40a kann in das schon gefertigte (Teil-) Gesenk eintauchen.

Soweit Trockeneis (insbes. CO₂ in festem Aggregatzustand) verwendet wird, kann ein Strahl, insbesondere ein Gas- bzw. Luftstrahl, mit Trockeneispartikeln darin über die zu überarbeitenden Flächen bzw. Seitenwände hinweg geführt werden. Die Trockeneispartikel können einen mittleren Durchmesser im Bereich zwischen 1 und 4 mm haben. Beim Auftreffen auf die zu bearbeitende Fläche oder kurz davor verdunstet das Trockeneis, und die so frei werdende Energie führt zum Abtrag der zu entfernenden Rückstände.

Soweit Ultraschall für die Seitenwandbearbeitung bzw. -reinigung verwendet wird, kann das Werkstück in ein Flüssigkeitsbad eingetaucht werden. Die Ultraschallbearbeitung kann für sich alleine oder zusätzlich zu den übrigen Maßnahmen herangezogen werden.

Die Führung 40 und insbesondere deren vordere Mündung 40a kann in ihrer Position (x/y/z) und/oder Winkellage bezüglich des Werkstücks 11 einstellbar und/oder während der Seitenwandbearbeitung über Gesenkflächen, insbesondere die Seitenwand oder Bereiche hiervon hinweg automatisch führbar sein. Hierzu kann eine Einstelleinrichtung 49 vorgesehen sein, die im Prozeß automatisch gesteuert die relevanten Positionen einstellt bzw. abfährt. Da ein Bearbeitungsmittel in der Regel räumlich breiter gestreut wirkt als ein Laserstrahl 12, kann die Einstellung der Führung 40 grober erfolgen als die eines Laserstrahls. Es kann eine einmalig Einstellung in Position und/oder Winkellage vor Beginn der Seitenwandbearbeitung ausreichend sein oder auch eine Führung einmal um den Gesenkumfang herum und so über die schon stehende Seitenwand hinweg.

Während der Seitenwandbearbeitung kann überschüssiges Bearbeitungsmittel zumindest von der Maschine, vorzugsweise auch von Werkstückteilen abgeschirmt werden. Hierzu kann bspw. eine Abschirmeinrichtung 43 vorgesehen sein, mit der das Bearbeitungsmittel zumindest von der Vorrichtung abgeschirmt wird. Sie kann glocken- oder haubenartig ausgelegt sein und bei der Seitenwandbearbeitung auf die Werkstückoberfläche aufgesetzt werden. Die Einstelleinrichtung 49 kann innerhalb der Abschirmeinrichtung 43 vorgesehen sein.

Während der Seitenwandbearbeitung kann überschüssiges Bearbeitungsmittel entfernt, insbesondere abgesaugt werden. Hierzu kann eine Absaugeinrichtung z. B. mit Leitung 44, Pumpe 45 und Auffangbehälter 46 vorgesehen sein.

Zur Seitenwandbearbeitung kann das Werkstück 11 insbesondere zusammen mit dem Tisch 14 vorzugsweise wiederholt automatisch aus dem Arbeitsbereich des Laserstrahls 12 weg und hin in die Nähe der Führung 40 des Bearbeitungsmittels verbracht werden, was durch Pfeil 47 angedeutet ist. Zur Seitenwandbearbeitung kann aber auch die Führung 40 des Bearbeitungsmittels in den Arbeitsbereich des Laserstrahls 12 und somit hin zum Werkstück 11 gebracht werden, Pfeil 48.

Die Seitenwandbearbeitung erfolgt vorzugsweise mehrmals während der Herstellung des Gesenks, bspw. immer nachdem eine gewisse Anzahl von Schichten gefertigt oder ein bestimmtes Volumen abgetragen oder eine bestimmt große Seitenwandfläche freigelegt wurde. Das Hin- und Herwechseln zwischen Gesenkfertigung und Seiten-

wandbearbeitung erfolgt vorzugsweise vollautomatisch einschließlich der geeigneten Positionierung von Werkstück und/oder ggf. der Führung 40, Abdeckung 43 und Absaugeinrichtung 44 – 46.

- 5 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks dient insbesondere der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Gesenks.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Herstellung eines Gesenks in einem Werkstück, bei dem mittels eines Laserstrahls Material abgetragen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwände des Gesenks mittels eines Laserstrahls und/oder eines Bearbeitungsmittels bearbeitet werden.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwände über die gesamte oder einen Teil der Tiefe des Gesenks und/oder über den gesamten oder einen Teil des Umfangs des Gesenks bearbeitet werden.
- 15 3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwandbearbeitung erfolgt, nachdem bei schichtweisem Materialabtrag mehrere Schichten ohne Seitenwandbearbeitung dazwischen abgetragen wurden.
- 20 4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwandbearbeitung mit verringerter Leistung des Laserstrahls und/oder an der Bearbeitungsstelle defokussiert und/oder mit höherer Strahlführungsgeschwindigkeit und/oder mit verringertem Energieeintrag pro Fläche erfolgt.
- 25

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwandbearbeitung automatisch nach Maßgabe von Gesenkdaten erfolgt.
- 5 6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwandbearbeitung mit einer Relativlage von Werkstück und der Laserstrahlquelle erfolgt, die anders ist als die beim schichtweisen Abtrag.
- 10 7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwand vor der Bearbeitung vermessen wird und die Bearbeitung nach Maßgabe der Vermessung erfolgt.
- 15 8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Herstellung eines Gesenks im Werkstück durch schichtweisen Materialabtrag mittels des Laserstrahls erfolgt.
- 20 9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bearbeitungsmittel ein Partikelstrahl und/oder ein Ätzmittel ist und/oder Trockeneis aufweist.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Bearbeitungsmittel durch eine Führung in den Bereich des Gesenks gebracht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung in ihrer Position und/oder Winkellage bezüglich des Werkstücks einstellbar und/oder während der Seitenwandbearbeitung führbar ist.

5

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung in ihrer Position und/oder Winkellage bezüglich des Werkstücks nach Maßgabe von Gesenkdaten und/oder nach Maßgabe von gemessenen Tiefendaten eingestellt und/oder geführt wird.

10

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß während der Seitenwandbearbeitung überschüssiges Bearbeitungsmittel zumindest von der Maschine abgeschirmt wird.

15

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß während der Seitenwandbearbeitung überschüssiges Bearbeitungsmittel entfernt, insbesondere abgesaugt wird.

20

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Seitenwandbearbeitung das Werkstück automatisch aus dem Arbeitsbereich des Laserstrahls weg und hin in die Nähe der Führung des Bearbeitungsmittels verbracht wird.

25

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Seitenwandbearbeitung die

Führung des Bearbeitungsmittels in den Arbeitsbereich des Laserstrahls verbracht wird.

- 5 17. Verfahren zur Herstellung eines Gesenks in einem Werkstück, insbesondere nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem mittels eines Laserstrahls Material abgetragen wird,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Seitenwände des Gesenks mittels Ultraschall bearbeitet werden.
10
18. Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, mit einer Laserbearbeitungseinrichtung (13) und einer Ansteuereinrichtung (30) für die Laserbearbeitungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt ist, die Laserbearbeitungseinrichtung oder eine Zuführeinrichtung (40 – 42) für ein Bearbeitungsmittel zur Bearbeitung der Seitenwand des Gesenks anzusteuern.
15
20
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, gekennzeichnet durch eine Fokussiereinrichtung (32, 37), die den Laserstrahl bei der Seitenwandbearbeitung an der Bearbeitungsstelle defokussiert.
25
20. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, gekennzeichnet durch eine Leistungssteuerungseinrichtung (34, 36), die die Laserleistung bei der Seitenwandbearbeitung absenkt.

21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Bearbeitungsmittel ein Partikelstrahl und/oder ein Ätzmittel ist und/oder Trockeneis aufweist.
22. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführeinrichtung eine Leitung (40) für die Partikel des Partikelstrahls und/oder für das Ätzmittel und/oder für das Trockeneis aufweist.
23. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 22, gekennzeichnet durch eine Abschirmeinrichtung (43), mit der das Bearbeitungsmittel zumindest von der Vorrichtung abgeschirmt wird.
24. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 23, gekennzeichnet durch eine Absaugeinrichtung (44 – 46), mit der überschüssiges Bearbeitungsmittel abgesaugt wird.
25. Vorrichtung zur Herstellung eines Gesenks, insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 24, mit einer Laserbearbeitungseinrichtung (13) und einer Ansteuereinrichtung (30) für die Laserbearbeitungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt ist, eine Ultraschalleinrichtung zur Bearbeitung der Seitenwand des Gesenks anzusteuern.

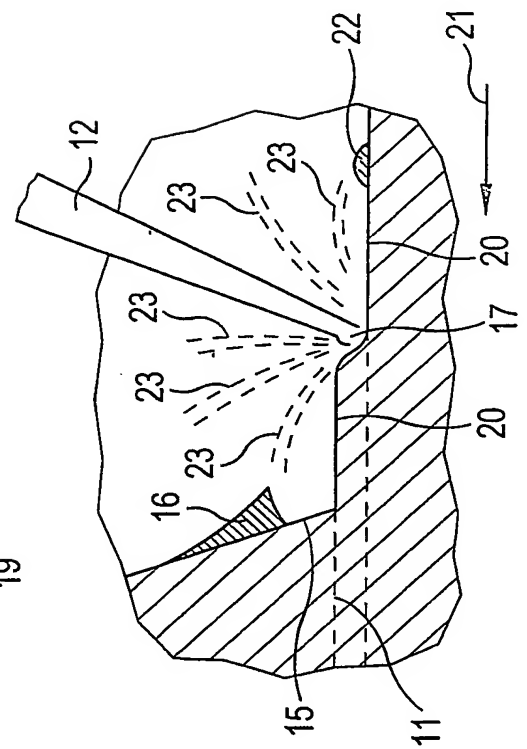
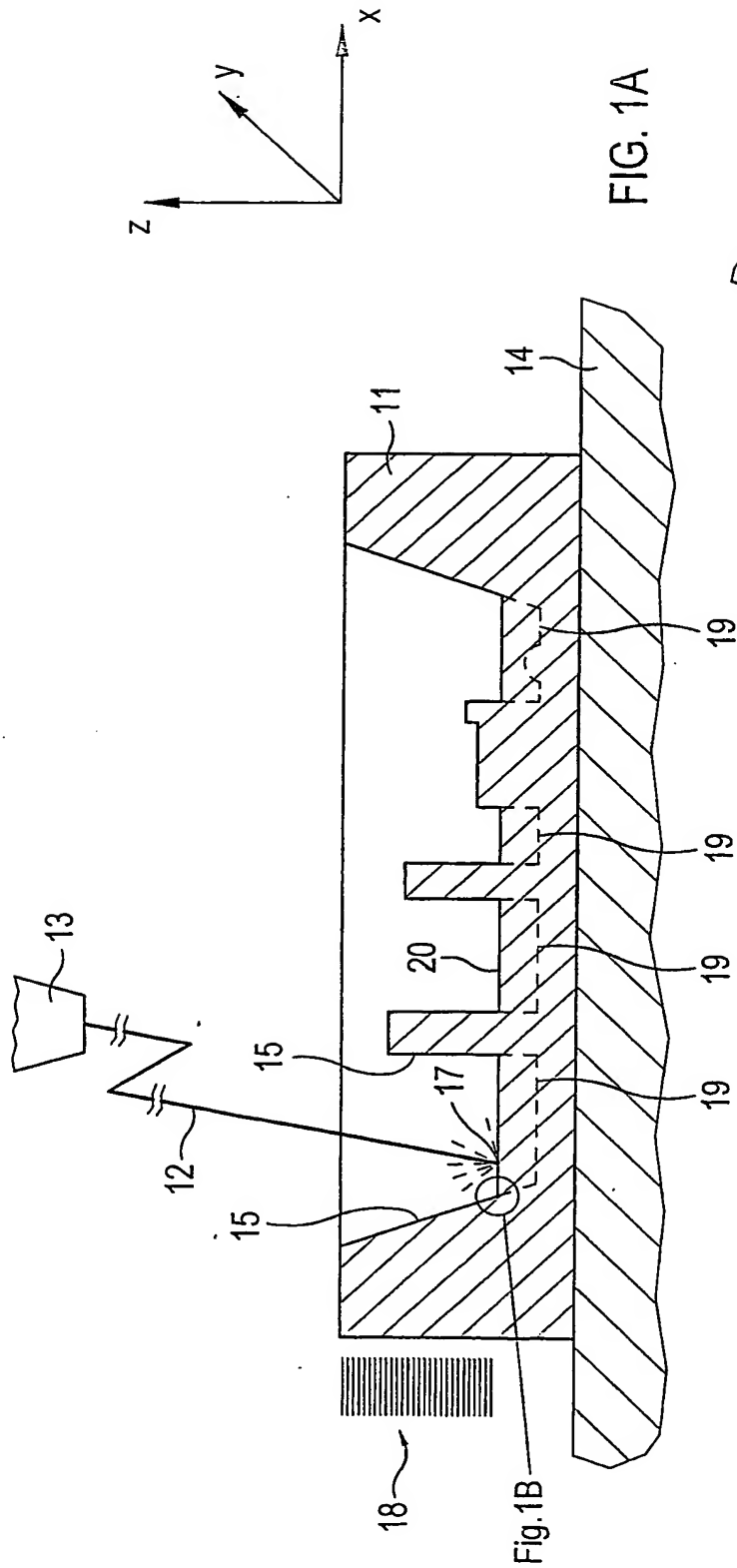
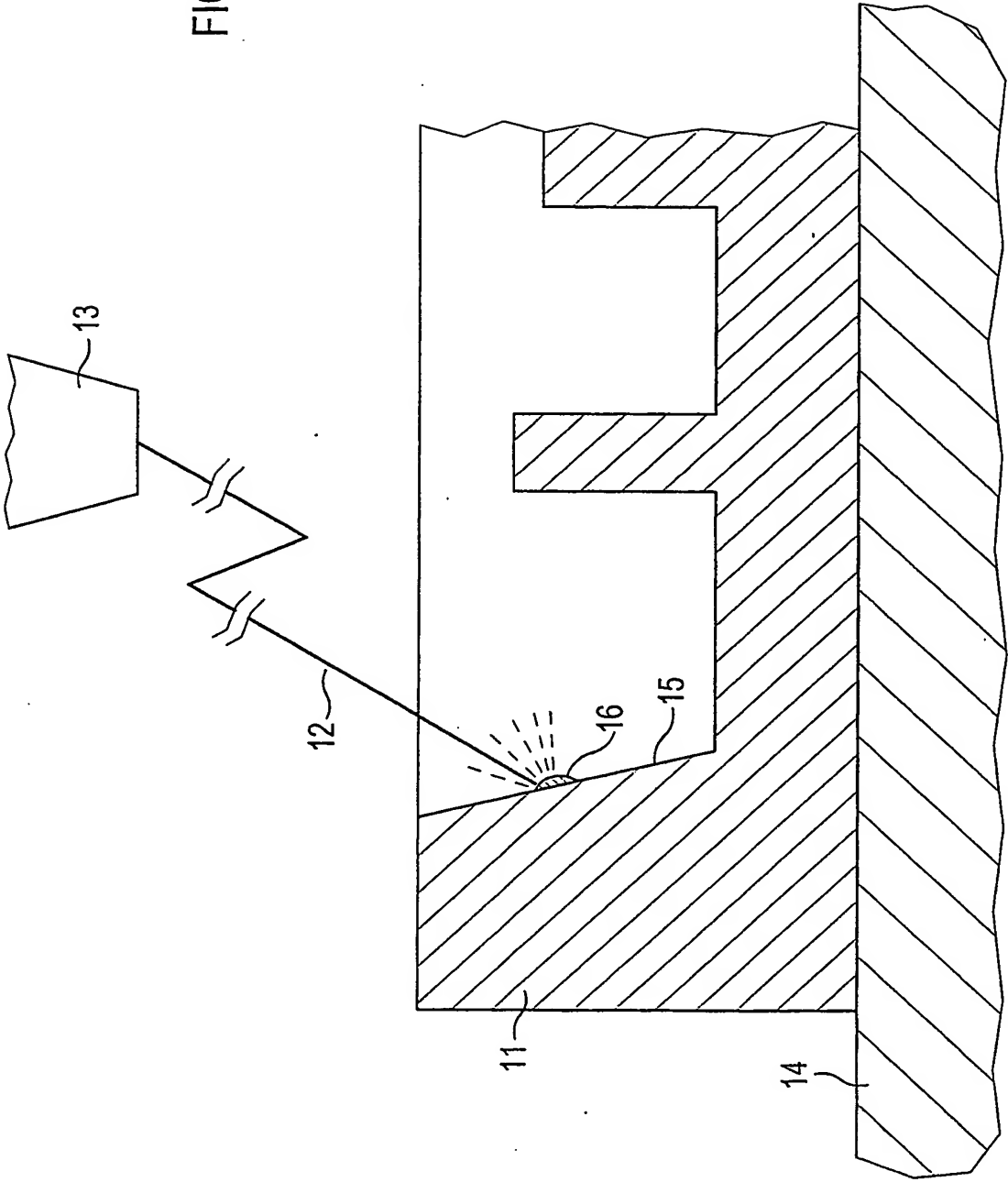


FIG. 1B

FIG. 2



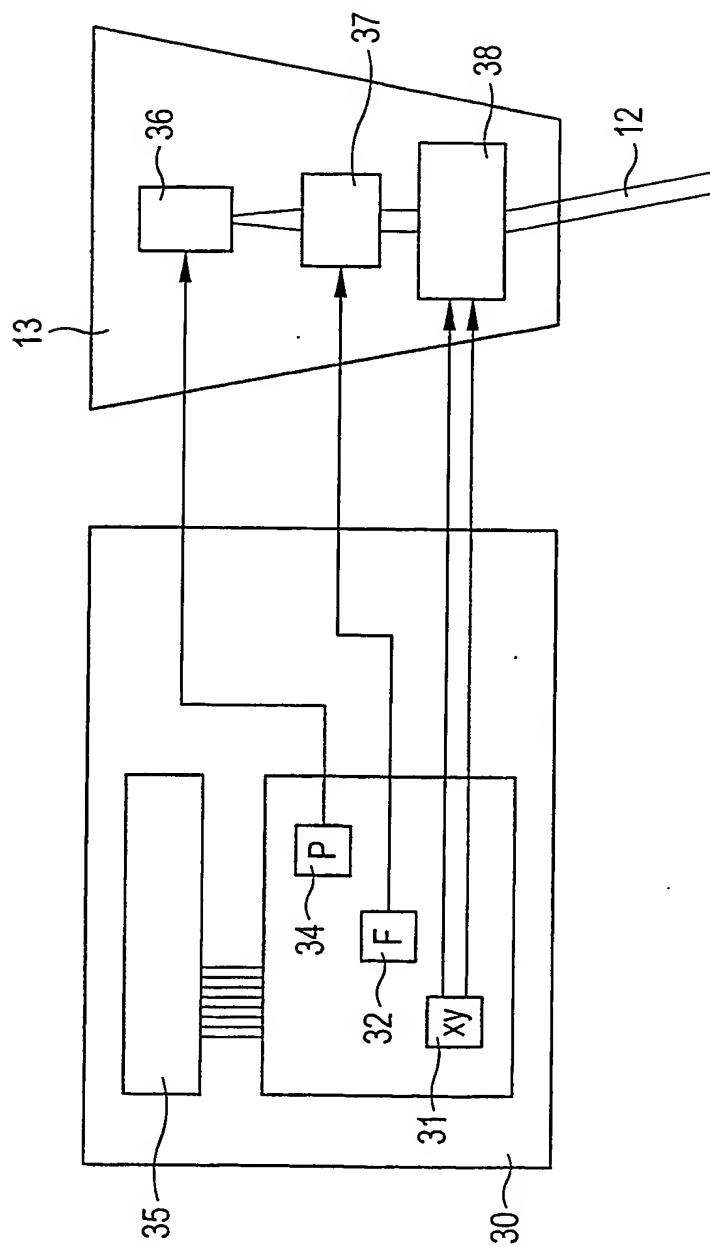


FIG. 3

4/4

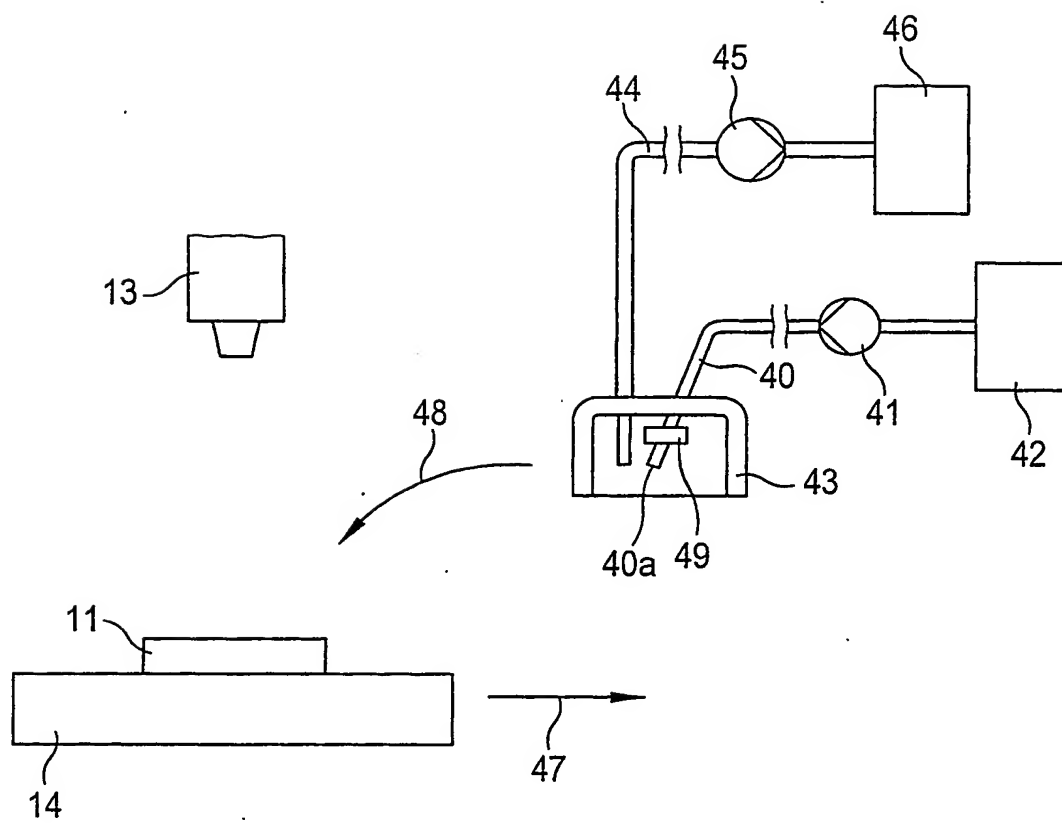


FIG. 4